Aus der Universitätsfrauenklinik Frankfurt a. M.
(Direktor: Geheimer Hofrat Prof. Dr. L. Seitz)

Arsen und Pflanzenwachstum

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der gesamten Medizin
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt a. M.

Vorgelegt von

Willo Gründer

aus Frankfurt a. M.

Winter 1937

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Johann Wolfgang Goethe-Universität zu Frankfurt/M.

Referent: Prof. Dr. Guthmann
Korreferent: Prof. Dr. Wetzler
Dekan: Prof. Dr. Schmieden

HAUSERPRESSE · HANS SCHAEFER · FRANKFURT A. M.

A. Prinzip der Methode.

In dieser Arbeit soll der Zusammenhang, der vielleicht zwischen Arsen und Wachstum besteht, untersucht werden. Man hat im Blut zur Zeit der menses, während der Gravidität und bei Karzinom-kranken Frauen eine bedeutende Erhöhung des As-Spiegels gegenüber demjenigen des Intermenstrums festgestellt, und man vermutet einen Zusammenhang zwischen den Vorgängen des Wachstums und dieser As-Vermehrung. Es lag nahe, wachsendes Gewebe auf seinen As-Gehalt zu untersuchen. Wir benutzten dazu Bohnenkeimlinge.

Die As-Bestimmungen führten wir nach der nephelometrischen Methode von Kleinmann aus. Diese ist in den Einzelheiten im Arch. f. Gyn. Bd. 152, Seite 128 ff. beschrieben.

Eine Schwierigkeit, die sich während der Arbeit ergab, soll gleich hier erwähnt werden: Es zeigte sich nämlich sehr häufig ein umgekehrtes Verhalten zwischen Ausgangsmenge der zu untersuchenden Substanz und dem festgestellten As-Gehalt dieser Menge. Kleine Ausgangsmengen zeigten oft relativ sehr hohe Werte. Man kann die Resultate also alle nur als Verhältniszahlen nehmen.

B. Untersuchungen über das Vorkommen des As in Bohnenkeimlingen.

I. Die As-Konzentration in den einzelnen Teilen der Pflanze.

Wir untersuchten zunächst Bohnensamen und junge Keimlinge auf ihren As-Gehalt. Beide enthalten As. Die Samen zeigten einen Mittelwert von 630 $\mu g\%$ As, sowohl Schalen wie Kerne enthalten As, die Schalen aber konzentrierter.

Die Untersuchungen an jungen Bohnenpflanzen, welche in gewöhnlicher Gartenerde bei Zimmertemperatur gezogen wurden, ergaben als Gesamtwert für 3 bis 4 Tage alte Pflanzen rund 740 $\mu g\%$ As.

Die Verteilung des Gesamt-As einer Pflanze auf ihre einzelnen Teile, Wurzeln (W), Stiele (St), Schalen (S) und Blätter (Bl) ergab den größten As-Gehalt in Wurzeln und Blättern. Auch der Wert der Schalen ist ziemlich hoch, was wohl mit der geringen Wasserkonzentration zusammenhängt. Am kleinsten ist der Wert der Stiele.

Einige Versuche seien angeführt.

Versuch 1: Wenige Tage alte Bohnen wurden auf As untersucht. Es ergaben sich die Werte nachstehender Tabelle:

	W.	St.	Bl.	S.
Gew. der Ausgangsmenge	6,1	3,65	1,22	25,5
As in µg%	384,2	296,1	2568,0	88,4
Gew. der Ausgangsmenge	6,1	3,65	1,22	25,5
As in µg%	370,1	399,7	2976,0	109,7

(hier zeigte sich das umgekehrte Verhalten der As-Werte zum Gewicht der Ausgangsmenge. Das trübt das Bild.)

Wir stellten deshalb Versuche mit gleichen Ausgangsmengen von W, St, S, Bl. an.

Versuch 2: Wenige Tage alte Bohnen wurden verascht. Immer gleiche Ausgangsmengen (2,5 g) der einzelnen Teile wurden untersucht:

	W.	St.	S.	Bl.
As in µg%	597,0	482,0	833,0	—,—
	630,0	531,9	852,3	1237,6

Den höchsten Wert zeigen also die Blätter, dann folgen Schalen und Wurzeln.

Versuch 16 ergab bei nicht ganz gleichen Ausgangsmengen der veraschten Pflanzenteile folgende Mittelwerte in zwei Parallelversuchen:

	W.	St.	S.	Bl.
As in µg%	1369,5	422,6	593,6	1398,8
	953,9	505,7	410,1	1212,8

Auch hier sehen wir wieder die Reihenfolge Bl, W, S, St.

Im Versuch 18 wurden in Reihe I sieben Tage alte Pflanzen, in Reihe II acht Tage alte Pflanzen untersucht. Jede Reihe bestand aus 4 Parallelversuchen. In Reihe I wurden in beiden Parallelversuchen nur gleiche Ausgangsmengen, nämlich 0,6 g verarbeitet. In Reihe II wurden dagegen im 1. Versuch je 0,6 g, im 2. Versuch je 1,2 g verarbeitet. Deshalb wohl liegen die Werte in Reihe II etwas tiefer, wenn auch die relativen Höhen sich entsprechen. Die Zahlen der Tabelle bedeuten den As-Gehalt in µg%.

	REIHE I.		REIHE II.	
	Genau	*Mittel*	*Mittel*	*Genau*
W.	7500	6500	3700	5357
	5355			1875
St.	2115	2500	1300	—
	2884			1250
S.	9192	6700	2200	2206
	4167			2083
Bl.	7500	6700	2400	3126
	9375			1705

Wenn man, unbekümmert um die Ausgangsmenge, die abgerundeten Werte der bisher angeführten Versuche addiert und die Summen durch die Zahl der Versuche dividiert, erhält man folgende Werte: Bl. 2500, W. 1800, S. 1450, St. 800. Blätter und Wurzeln enthalten am meisten As. Blätter und Wurzeln sind die eigentlichen Wachstumsgebiete der Pflanzen.

II. Das Verhalten der As-Konzentration während verschiedenen Wachstumsstadien der Pflanzen.

Wir haben festgestellt, daß in den eigentlichen Wachstumsgebieten der Pflanzen, in Wurzeln und Blättern, das As sich besonders konzentriert findet. Der verhältnismäßig hohe As-Gehalt der Schalen erklärt sich vielleicht so:

1. Das Gewebe in den Schalen ist recht kompakt und enthält weniger Wasser als die anderen Pflanzenteile;
2. Die Schalen dienen den Blättern vielleicht als ein Kraftreservoir für das Wachstum, welches ihnen die zum Wachstum wichtigen Stoffe liefert.

Nun liegt die Frage nahe, ob in verschiedenen Stadien des Wachstums die As-Konzentration der Gewebe sich verschieden verhält. Diese Frage wollen wir jetzt behandeln.

Vergleichen wir den Summenwert von 10 g gewachsener Substanz (Versuch 2) mit dem Summenwert von 10 g ruhendem Samen (Versuch 4), so zeigt sich hier ein höherer As-Gehalt der wachsenden Pflanze gegenüber demjenigen des Samens. Jedoch ist dieser Zuwachs nicht so bedeutend, als daß man ohne weiteres daraus schließen könnte, daß die As-Konzentration des wachsenden Gewebes wesentlich höher seien, als die der Samen. (Vergleiche Seite 11).

Verfolgen wir nun die As-Konzentration im pflanzlichen Gewebe weiter, so ergibt sich nach hohen Werten in den ersten Tagen des Wachstums ein allmähliches Absinken, dann nämlich, wenn ein gewisses Stehenbleiben im Wachstum oder zumindest ein erhebliches Langsamerwerden eingetreten ist.

Zunächst seien die Zahlen aus einigen Versuchen angeführt:

Versuch 9: Bohnen wurden bei Zimmertemperatur in Gartenerde gezogen, und es wurden 4, 6, 7, 9 und 12 Tage nach dem Stecken ihre einzelnen Teile auf As untersucht. Die Werte fallen vom 4. zum 12. Tage ab, aber im entgegengesetzten Sinne steigen die Gewichte der Ausgangsmengen. Nur bei den Schalen (S) ist das Verhalten umgekehrt. Man kann diese Zahlen, deren Unterschiede wohl zum großen Teile durch die Unterschiede in den Ausgangsmengen bedingt sind, kein allzugroßes Gewicht beilegen, aus dem ganzen Versuch aber wohl doch auf die Hauptrichtung des Vorganges schließen, daß nämlich die As-Konzentration in den Geweben abnimmt mit zunehmendem Alter der Pflanze.

Die As-Werte der folgenden Tabelle geben die Konzentration der Teile W, St, S, Bl in µg% an.

	W.		St.		S.		Bl.	
Tag	*Gew.*	*As*	*Gew.*	*As*	*Gew.*	*As*	*Gew.*	*As*
4.	0,05	22058	1,45	—	17,2	40	0,1	12930
	0,3	5000	2,05	452	17,6	149	0,13	3475
6.	1,15	1271	4,45	462	16,3	50	0,7	—
	1,6	2205	6,36	184	17,6	194	1,0	1488
7.	1,03	—	8,7	149	9,6	95	1,7	1500
	0,8	1786	6,8	187	9,8	127	1,1	1292
9.	3,35	426	20,5	179	11,4	—	2,5	3125
	3,6	—	16,4	70	12,4	144	2,1	1500
12.	2,4	1209	25,2	131	5,9	313	4,1	255
	2,5	1630	21,3	44	9,3	544	3,1	412

Im Versuch 12 wurden gleiche Ausgangsmengen (3,0 g) verascht, um so zu einigermaßen vergleichbaren Werten zu gelangen. Die Wachstumsbedingungen der Pflanzen waren die gleichen wie bei Versuch 9. Die Untersuchungen wurden zwischen dem 6. und dem 20. Tag vor-

genommen. Aus insgesamt 78 Bestimmungen ergaben sich folgende Werte für die As-Konzentration:

	W.		St.		S.		Bl.	
	As	*As*	*As*	*As*	*As*	*As*	*As*	*As*
Tag	*Genau*	*Mittel*	*Genau*	*Mittel*	*Genau*	*Mittel*	*Genau*	*Mittel*
	379		284		416		567	
6.		380		320		540		570
	371		350		637		—	
	—		904		484		456	
8.		2500		660		490		460
	2500		417		487		—	
	549		625		436		417	
10.		1830		410		310		490
	3112		200		190		552	
	323		395		—		—	
12.		510		240		420		540
	694		88		416		544	
	441		275		318		364	
14.		320		170		240		670
	192		58		162		1014	
	551		270		463		1630	
16.		520		290		460		1000
	487		318		457		371	
	—		286		—		691	
18.		350		290		—		690
	347		303		—		—	
	568		481		—		1250	
20.		490		270		610		1190
	395		64		605		1136	

Die Wurzeln bleiben hier indifferent. Stiele fallen leicht ab. Schalen und Blätter fallen deutlich bis zum 14. Tag und zeigen dann eine unerklärliche Erhöhung ihrer As-Werte.

Zwei Versuche zeigten deutlich höhere As-Werte bei jüngeren Pflanzen als bei älteren. Untersucht wurden in Versuch 15 die kleinen Blättchen (B), bei Ausgangsmengen zwischen 0,2 und 0,7 g, sowie

Teile der großen Blätter (Bl) bei Ausgangsmengen zwischen 0,2 und 3,0 g. Es ergaben sich nach 14, 18 und 28 Tagen folgende Werte für die As-Konzentration des Gewebes, ausgedrückt in µg%:

	B.		Bl.	
	As	*As*	*As*	*As*
Tag	*Genau*	*Mittel*	*Mittel*	*Genau*
14.	10714	9100	6400	12500
	7500			298
18.	2500	7700	6100	11364
	12500			833
28.	2500	5000	1300	2083
	7500			360

Der Versuch 18 zeigte bei Veraschungsmengen von 0,6 g folgende As-Werte:

	REIHE I.		REIHE II.	
	As	*As*	*As*	*As*
	Genau	*Mittel*	*Genau*	*Mittel*
W.	7500	6500	5359	5400
	5355		—	
St.	2115	2500	1442	1450
	2884		—	
S.	9192	6700	3409	3400
	4167		—	
Bl.	7500	6700	1786	1800
	9375		1973	

Die Pflanzen der Reihe I waren 7 Tage alt und hatten eine durchschnittliche Stiellänge von 4,5 cm. Die Pflanzen der Reihe II waren

28 Tage alt, und ihre durchschnittliche Stiellänge betrug etwa 23 cm. *Wir können also sagen, daß die As-Konzentration der Pflanzen mit dem Alter abnimmt* gegenüber der Konzentration in den ersten Tagen des Wachstums.

Vergleichen wir nun Pflanzen miteinander, die unter den genau gleichen Wachstumsbedingungen verschieden schnell wuchsen, so daß sie wohl gleich alt, aber verschieden groß waren, so ergeben sich folgende Werte:

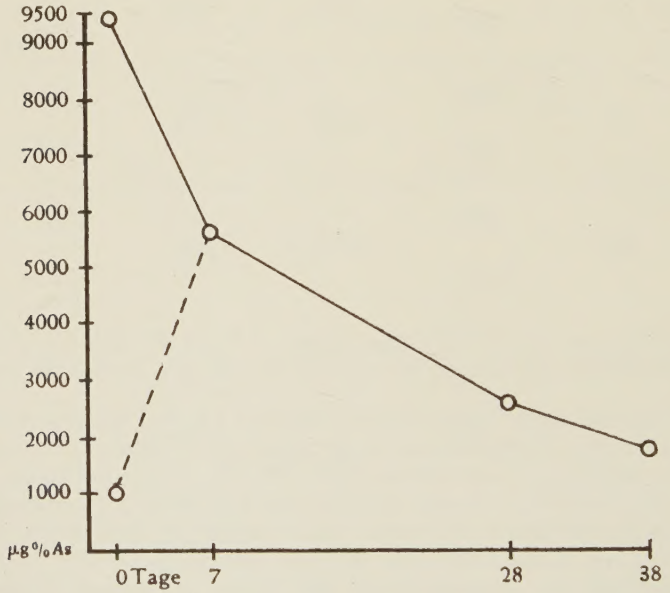
	Große Pflanzen		Kleine Pflanzen	
	As	*As*	*As*	*As*
	Genau	*Mittel*	*Mittel*	*Genau*
W.	765	1400	1000	658
	1974			1250
St.	570	450	550	658
	276			354
S.	735	600	450	560
	452			260
Bl.	298	1400	1200	1705
	2500			721

Die Pflanzen dieses Versuches waren 8 Tage alt. Die durchschnittliche Stiellänge der kleinen betrug 4,5 cm, die der großen 16 cm.

Wir benützen die Zahlen aus Versuch 18 zu einer graphischen Darstellung der As-Konzentration in der gesamten Pflanze. Die Ausgangsmengen der jeweils veraschten Teile (W, St, S, Bl) betrugen immer 0,6 g. Alle Teilwerte wurden addiert und aus ihnen der Durchschnittswert jeweils für das verschiedene Alter berechnet. Außerdem wurden fünfmal 0,6 g Samen verascht, und der Durchschnittswert aus diesen Veraschungen als Ausgangspunkt der Kurve genommen. Diese Veraschungen ergaben übereinstimmende Trübungen (Nephelometerzahlen zwischen 6,2 und 7,2). Der Durchschnittswert, aus ihnen berechnet, ergab eine As-Konzentration in der Samenfrischsubstanz von 9375 µg% As.

Tag	*As* W.	*As* St.	*As* S.	*As* Bl.	Abgerundeter Gesamtwert
7.	7500	2115	9192	7500	5600
	5359	2885	4167	9375	
28.	5359	1442	3409	1973	2600
38.	1389	1209	—	3409	1800
	1387	915	—	2206	

Nachstehende Abbildung wurde nach den Zahlen der obenstehenden Tabelle gezeichnet.



Die Darstellung zeigt das Verhalten der As-Konzentration in der Frischsubstanz von Samen und wachsender Pflanze. Betrachten wir zunächst nur den Teil der Kurve zwischen 7. und 38. Tag.

Die höchste As-Konzentration im wachsenden Gewebe zeigen die jungen Pflanzen mit rund 5600 µg% As am 7. Tag. Dann fällt die Konzentration bis zum 38. Tag auf 1800 µg%. Der hohe As-Wert des Samens von 9400 µg% As ist auffallend; denn, wenn tatsächlich ein proportionales Verhalten von der As-Konzentration eines Gewebes zu seinem Wachstum bestünde, müßten wir im Samen, als ruhender Substanz, eine wesentliche geringere As-Konzentration erwarten als im wachsenden Gewebe. Wir müssen folgendes berücksichtigen: der Samen enthält etwa 85% Trockensubstanz, das wachsende Gewebe dagegen nur ungefähr 10%. Wir wollen aber Trockensubstanz mit Trockensubstanz vergleichen. Wir müssen also die As-Konzentration des Samens errechnen, welche wir bei Veraschung von 0,6 g Ausgangsmaterial erhalten hätten, wenn der Samen auch nur 10% Trockensubstanz enthielte. Dann erst erhalten wir einen Wert, den wir mit den Werten der wachsenden Substanz vergleichen können. Wir teilen also den As-Wert des Samens, der sich bei 85% Gehalt Trockensubstanz ergeben hat, durch 8,5 und erhalten damit die As-Konzentration, welche sich bei einem 10%igen Gehalt des Samens an Trockensubstanz ergeben würde: 9375 : 8,5 = 1102,9 = rund 1100 µg% As. Damit zeigt sich ein außerordentlicher Anstieg der As-Konzentration in der Trockensubstanz der wachsenden Pflanze gegenüber derjenigen der Trockensubstanz des Samens (punktierte Linie die Kurve).

III. Die Wirkung der As-Konzentration des Nährbodens auf die Pflanze.

Wie sahen bisher das Verhalten der As-Konzentration im wachsenden pflanzlichen Gewebe. Wir untersuchten oft nur Bruchteile von gewachsenen Pflanzen und erhielten in diesen As-Werte, welche ebenso hoch oder höher waren als diejenigen des Samens. Wenn wir nun eine ganze Pflanze mit dem einen Samenkorn vergleichen, aus dem sie hervorging, so erkennen wir, daß die Pflanze absolut eine wesentlich größere As-Menge enthält, als ihr Samenkorn. Wir müssen annehmen, daß die Pflanze dieses Mehr an As aus ihrem Nährboden bezieht.

Wir wollen untersuchen ob dies der Fall ist, und wie der As-Gehalt des Nährbodens sich auf die As-Konzentration im pflanzlichen Gewebe und auf das Wachstum der Pflanzen auswirkt.

Zunächst untersuchten wir in *Versuch 10,* wie As-frei gezüchtete Bohnen sich von den in gewöhnlicher Gartenerde gezogenen und mit Leitungswasser gegossenen Bohnen in As-Konzentration und Wachstum unterscheiden. Temperatur und Lichtbedingungen waren für beide

gleich. Den Nährboden der As-frei zu züchtenden Pflanzen stellte As-freier Seesand dar, welcher mit Knop'scher Nährlösung durchtränkt war und in Porzellanschalen locker auf eine Watteschicht gebröckelt wurde. Gegossen wurde mit aqua dest. Die Bohnen wurden vorher zwischen feuchtem Fließpapier leicht angekeimt. Nach einer Wachstumszeit von 12 Tagen zeigten die As-frei gezüchteten Pflanzen eine durchschnittliche Stiellänge von 2 bis 3 cm. Die in Gartenerde aufgewachsenen waren etwas länger (2—4 cm), einige wurden sogar 12 cm lang.

Gew.	W.	St.	S.	Bl.	Stiellänge	
Gew. . .	0,6	1,8	3,8	0,15	2—3 cm	As-frei
As µg%	3125	765	577	12500		
Gew. . .	0,45	1,25	4,6	0,2	2—4 cm	Gartenerde
As µg%	7977	4808	463	6250		

Ein folgender Vergleichsversuch (Versuch 11) ergab keine sehr eindeutigen Resultate. Er wurde folgendermaßen durchgeführt:

a) Bohnen wurden in Seesand mit Knop'scher Nährlösung As-frei hochgezogen. Nach 12 Tagen Wachstum betrug ihre durchschnittliche Stiellänge 3,5 cm.

b) Bohnen, die in gewöhnlicher Gartenerde aufwuchsen und mit Leitungswasser gegossen wurden, zeigten bei sonst gleichen Bedingungen am 12. Tage eine durchschnittliche Stiellänge von 10 cm.

c) Bohnen wuchsen auf unter den gleichen Bedingungen wie diejenigen von b., nur daß sie mit 10fach verdünnter Fowler'scher Lösung gegossen wurden.

Die Pflanzen des Versuchs c) erreichten zwar Stiellängen bis 7 cm, waren aber zum Teil angefault und waren überhaupt schwer geschädigt. Diese Schäden sind wohl auf eine Überdosierung des As zurückzuführen. Die Werte des Versuches folgen in untenstehender Tabelle.

	W.	St.	S.	Bl.	Nährboden	As-Zufuhr	Stiellänge
a) Gew.	0,9	2,2	4,5	0,3	Seesand	aqua dest.	3,5 cm
As.	4167	708	361	10417			
b) Gew.	1,3	7,3	2,7	0,75	Gartenerde	Leitungswasser	10 cm
As.	2183	332	313	4411			
c) Gew.	1,1	5,3	4,3	0,75	Gartenerde	Fowl. Lsg. 1:10 verd.	7 cm
As.	2671	—	282	5357			

Die Vergiftungserscheinungen durch die As-Überdosierung, welche die Pflanzen von Versuch 11 c zeigten, führten uns dazu, Versuche mit wesentlich kleinerer As-Konzentration des Närbodens durchzuführen.

Der Versuch 17 zeigte folgende Bedingungen und Ergebnisse:

a) Bohnen wurden in Seesand mit Knop'scher Lösung As-frei gezogen. Wachstumszeit 13 Tage.

b) Bohnen wurden in Seesand mit Knop'scher Lösung gezogen. As-Zugabe von sechsmal 3,0 ccm einer hundertfach verdünnten Fowler'schen Lösung. Wachstumszeit 13 Tage.

c) Bohnen wurden in Gartenerde gezogen mit Leitungswasser gegossen. Wachstumszeit 13 Tage.

d) Bohnen wurden in Gartenerde gezogen mit Leitungswasser gegossen. As-Zugabe von sechsmal 3,0 ccm einer hundertfach verdünnten Fowler'schen Lösung.

Wir vergleichen zunächst Gewichte und Stiellänge der 13 Tage alten Pflanzen.

	As-Zufuhr	*Gew. v. je 15 Pflanzen*	*Stiellängen*
Seesand	a) As-frei	21 g	3,0 cm
	b) 6×3,0 ccm Fowl. Lsg. 1:100 verd.	15 g	1,3— 1,8 cm
Gartenerde	c) Leitungsw.	24,0	*4,0*—12,0 cm
	d) 6×3,0 ccm Fowl. Lsg. 1:100 verd.	39 g	14 cm

Das größte Längenwachstum und das größte Gesamtgewicht hatten also die in Erde mit mässiger As-Zufuhr gezogenen Pflanzen.

Wenn wir nun nach den Stiellängen und Gewichten auch die As-Konzentrationen der Pflanzen vergleichen, so erhalten wir folgende Werte:

	Seesand				Erde			
	a) As-frei		*b) As-Zugabe*		*c) Leitungsw.*		*d) As-Zugabe*	
	As Genau	As Mittel	As Genau	As Mittel	As Genau	As Mittel	As Genau	As Mittel
W.	282	280	2343	*2340*	915	920	3202	*3200*
St.	603	600	815	*820*	595	600	708	*710*
S.	375	380	1442	*1450*	670	670	421	420
Bl.	3000	3000	1974	1980	—	—	1786	1790

Bei 5 von den 8 zu vergleichenden Wertpaaren liegen die As-Konzentrationen höher bei den mit As-Zugabe gezogenen Pflanzen.

Ein weiterer Versuch, bei dem nur die As-Konzentrationen von in Seesand mit und ohne As-Zugabe gezogenen Pflanzen verglichen werden, ergibt eine deutliche Steigerung bei den Pflanzen, deren Nährboden As zugefügt wurde. Nach 10 Tagen Wachstum hatten 17 As-frei gezogene Pflanzen ein Gesamtgewicht von 20 g, die mit As-Zugabe gezogenen ein Gesamtgewicht von 21 g. Die Stiellängen schwankten zwischen 1,5 und 3,5 cm bei den As-frei gezogenen, zwischen 2,0 und 3,5 cm bei den mit As-Zugabe gezogenen Pflanzen; die letzten Pflanzen waren also etwas größer. Die As-Zugabe betrug 4 × 2,0 ccm einer 1:100 verdünnten Fowler'schen Lösung. Diesmal wurden immer genau gleiche Ausgangsmengen (0,8 g) auf As untersucht. Es ergaben sich folgende Werte:

Seesand

	As-frei		*As-Zugabe*	
	As Genau	As Mittel	As Mittel	As Genau
W.	872	870	1560	1563
St.	705	710	1380	1379
S.	—	—	1740	1741
Bl.	1293	1300	12100	12097

Damit kann die As-Aufnahme der Pflanzen aus dem Nährboden wohl als erwiesen betrachtet werden.

Nun kam es jedoch darauf an, genauer die Beziehungen zwischen der As-Konzentration des Närbodens, der As-Konzentration im pflanzlichen Gewebe und dem Wachstum zu untersuchen.

Den Ausgangspunkt für eine genaue und zweckmäßige Dosierung des As im Nährboden gab uns die Beobachtung, daß in Sägespänen, welche mit Knop'scher Nährlösung durchtränkt waren, die Bohnen besonders gut wuchsen. Wir untersuchten die Sägespäne auf As und fanden eine Konzentration von rund 800 µg As in 100 g Sägespänen. Auf das Volumen umgerechnet, ergaben das etwa 160 µg As auf 100 ccm Sägespäne. Diese As-Konzentration etwa sollte bei Versuch 20 verwendet werden.

Der Versuch 20 geht wieder davon aus, As-frei gezüchtete Pflanzen mit solchen zu vergleichen, deren Nährboden As zugefügt war. Und zwar sollten Wachstumshemmende und wachstumsfördernde Konzentrationen verwendet werden. Das As, welches wir in den Sägespänen

fanden, muß, da es ja in der gewachsenen Substanz chemisch gebunden ist, als weniger aktiv und bewegungsfähig angesehen werden als das As, welches man in Form der Fowler'schen Lösung dem Seesande oder der Gartenerde zugibt. Deshalb wurden etwas geringere Mengen zugegeben. Die Sägespäne enthalten in 1000 ccm etwa 1600 µg As. Dem Seesand und der Erde fügten wir durch entsprechendes Verdünnen von Fowler'scher Lösung nur je 800 µg As auf 1000 ccm zu. Als absichtliche Überdosierung gaben wir auf 1000 ccm Seesand 4000 µg As und auf 1000 ccm Erde 8000 µg As.

Der Versuch ergab nach einem Wachstumsalter der Pflanzen von 12 Tagen folgende Resultate:

	Boden	As-Gabe	As µg % genau				As µg % Mittel				As-Gesamt	Gew. der Ernte	Stiellängen in cm
			W	St	S	Bl	W	St	S	Bl			
a	Seesand 1000 cm³	—	798	1071	904	920	800	1070	900	920	**3800**	16 g	2 ; 2,5
b	Seesand 1000 cm³	800 µg	904	568	1875	1180	900	570	1880	1180	**4400**	15 g	1,5 ; 2,6
c	Seesand 1000 cm³	4000 µg	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	vergiftet
d	Erde 1000 cm³	Leitungswasser	1136	824	1389	2206	1140	820	1390	2200	**5500**	21 g	4 ; 6 ; 7 ; 10
e	Erde 1000 cm³	L.-Wasser 800 µg As	872	790	1042	1000	870	790	1040	1000	**3600**	20 g	5 ; 6 ; 7 ; 9 ; 11 ; 12
f	Erde 1000 cm³	L.-Wasser 8000 µg As	1631	904	765	1500	1630	900	770	1500	**4800**	17 g	2 ; 5 ; 6 ; 8 ; 9 ; 12

Wir sehen das beste Längenwachstum bei den Pflanzen (e), die unter physiologischen Bedingungen (Erde, Brunnenwasser) mit einer geringen As-Dosierung (800 µg As) im Nährboden aufwuchsen. In ihrem Gewebe zeigen diese Pflanzen die geringste As-Konzentration. Die 800 µg As, welche den 1000 ccm Erde zugefügt wurden, können ja auch keine wesentliche Vermehrung des Pflanzen-As bewirken, selbst wenn sie ganz und gar von den Pflanzen aufgenommen worden wären. Die große As-Dosis (4000 µg bei c, 8000 µg bei f) wirkte einmal so, daß alle Keimlinge vergiftet wurden (c), während sie bei f (Erde) vielleicht für das leise Zurückbleiben im Längenwachstum gegenüber den ohne As-Zugabe gezogenen Pflanzen als schädlicher Faktor verantwortlich zu machen ist.

Es ergibt sich also aus vorliegenden Versuchen keine klare Beziehung zwischen As-Gabe in den Nährboden und der As-Konzentration der Pflanze. Eine höhere As-Konzentration der Pflanzen, deren Nährboden As beigegeben war, gegenüber den völlig As-frei gezogenen Pflanzen zeigte sich allerdings auch hier. Eine Steigerung des Längenwachstums durch ganz kleine As-Dosen, die vielleicht als wachstumsfördernder Reiz wirken, kann aus den Versuchen herausgelesen werden. Einwandfrei zeigt sich die Schädigung des pflanzlichen Gewebes durch große As-Dosen.

IV. Extraktionsversuche zur Feststellung der Löslichkeit der Pflanzen-As-Verbindungen.

Wenn As mit dem Wachstum von Organismen in einem Zusammenhang steht, dann müßte wesentlich sein zu wissen, in welcher Form das As chemisch sich im Gewebe findet. Zur Lösung dieser Frage haben wir einen kleinen Schritt versucht, indem wir feinpulverisierte Bohnentrockensubstanz von etwa 10 Tagen Wachstumsalter mit verschiedenen Extraktionsmitteln extrahierten, um die Löslichkeit festzustellen. Rückstand und Extrakt wurden dann auf As untersucht.

Alle Extraktionen wurden aus 5,0 g Trockensubstanz mit 150 ccm Extraktionsmittel hergestellt.

Die Berechnung der As-Werte muß noch kurz beschrieben werden. Die Endformel lautet:

$$c = \frac{375}{a.} \cdot \frac{100}{b.} \mu g\% \text{ As}$$

Darin bedeutet:

c = die gesuchte As-Konzentration der zu untersuchenden Lösung.

a = die Spaltbreite im Nephelometer ausgedrückt in mm.

b = das Gewicht der untersuchten Substanz.

b war in diesem Falle immer gleich 5; a setzte sich zusammen aus:

1. der Spaltbreite bei der As-Bestimmung im Rückstand R,
2. der Spaltbreite bei der Bestimmung im Extrakt E.

Es wurden also die beiden Spaltbreiten addiert und die Summe als Wert für a in die Formel eingesetzt. Damit errechnete man den As-Gehalt von R und E zusammen. Die prozentuale Verteilung nun ergab sich aus dem umgekehrten Verhalten der beiden Spaltbreiten von R und E. Denn je kleiner die Spaltbreite im Nephelometer, desto dichter ist ja die As-Konzentration in der zu untersuchenden Lösung.

Es wurde also die Summe der Spaltbreiten = a = 100% gesetzt, davon der Prozentualwert der beiden Spaltbreiten (R und E) genommen, und dann der Gesamtwert des As so auf E und R verteilt, daß der Teil, welcher die kleinere Spaltbreite beim Ablesen, also die größere Helligkeit und damit die größere As-Konzentration hatte, den größeren Prozentwert des Gesamt-As erhielt.

Beispiel: Im Nephelometer wurden abgelesen die beiden Spaltbreiten

$$\begin{aligned} aE &= 10 \\ aR &= 5 \\ \hline aE + aR &= 15 = aS \end{aligned}$$

Wir nennen aE und aR = aS (Summenspaltbreite).

Ich errechne den Gesamtgehalt von As durch Einsetzen der Summenspaltbreite aS in die Formel:

$$c = \frac{375}{aS} \cdot \frac{100}{b.}$$

b ist jedesmal = 5,0 g. Es ergibt sich also

$$c = \frac{375}{15} \cdot \frac{100}{5} = \frac{37500}{75} = 500\ \mu g\% \text{ As.}$$

Es enthalten also E und R zusammen die Konzentration:

$$cE + cR = 500\ \mu g\% \text{ As.}$$

Diese verteilen sich auf E und R so:

$$\begin{aligned} aE + aR &= 15 = 100\% \\ 5 &= 33{,}3\% \\ 10 &= 66{,}6\% \end{aligned}$$

Der größere Prozentwert gehört zu der dichteren As-Konzentration, also zu der kleineren Spaltbreite:

$$\begin{aligned} aE &= 10 = 33{,}3\% \\ aR &= 5 = 66{,}6\% \end{aligned}$$

Die Gesamtkonzentration von E und R = 500 µg% verteilt sich also auf E und R so, daß

E = 33,3%
R = 66,6% enthalten.

Wenn wir die Ergebnisse der Extraktionen betrachten, so zeigt sich grundsätzlich, daß das As aus den pflanzlichen Geweben mit allen benutzten Extraktionsmitteln (Wasser, 5%ige Schwefelsäure, 5%ige Natronlauge, Äther und absoluter Alkohol) herauszuholen ist.

Die Verteilung auf Rückstand und Extrakt ist meist nicht ganz klar, da sich bei den gleichen Extraktionsmittel sowohl höherer As-Gehalt des Rückstandes wie auch ein solcher des Extraktes bei verschiedenen Versuchen ergaben.

Tabelle über die Verteilung des As auf Rückstand (R) und Extrakt (E) von Extraktionen mit verschiedenen Extraktionsmitteln aus pulverisierter Bohnentrockensubstanz:

	Nr.	Gesamt-As in µg%	E %	R %
H_2O	1	371,2	36,5	64,4
	10	609,7	17,1	82,9
	12	164,8	36,2	63,8
	13	218,0	15,1	84,9
	W1	735,3	68,8	37,2
	W2	724,2	56,3	43,7
C_2H_5OH 100%	9	207,7	36,0	64,0
	17	362,3	85,4	14,6
	27	365,8	49,0	51,0
	31	350,5	50,1	49,9
	57	496,6	41,1	58,9
	58	394,7	32,6	67,4
$C_2H_5O\ C_2H_5$	2	139,2	45,6	54,4
	11	384,6	33,4	66,6
	14	154,6	5,1	94,9
	15	457,3	80,5	19,5
	37	434,8	60,2	39,8
	38	675,7	28,8	71,2
	39	833,3	27,7	72,3
	40	688,1	26,6	73,4
	55	635,5	75,5	24,5
	56	694,4	74,1	25,9
H_2SO_4 5%	8	340,2	40,3	59,7
	24	120,7	59,0	41,0
	42	547,6	37,9	62,1
	43	568,2	37,1	62,9
	44	401,0	38,5	61,4
	45	380,7	49,8	50,2
	47	500,0	30,0	70,0
NaOH 5%	7	206,4	55,8	44,2
	50	604,9	23,3	76,7
	51	421,3	72,0	28,0
	53	490,2	30,8	69,2

Übersichtstabelle zu den Extraktionen:

Lösungsmittel	*Gesamt As µg%*	*Prozentuale Verteilung*
Wasser	471	E = 37,8% R = 62,2%
Schwefelsäure	408	E = 43,0% R = 57,0%
Natronlauge	431	E = 45,5% R = 54,5%
Äther	508	E = 47,9% R = 52,1%
Alkohol (absolut)	363	E = 52,3% R = 47,7%

C. Zusammenfassung.

1. Bohnensamen und Bohnenpflanzen enthalten As.
2. Die As-Konzentration der Trockensubstanz des wachsenden Gewebes ist größer als die der Trockensubstanz des ruhenden Samen.
3. Die As-Konzentration der wachsenden Pflanze ist am größten in Blättern und Wurzeln, kleiner in den Schalen, am kleinsten in den Stielen.
4. Die As-Konzentration im wachsenden pflanzlichen Gewebe fällt nach einem Maximum in den ersten Tagen des Wachstums mit zunehmendem Alter allmählich ab.
5. Bohnen nehmen As aus ihrem Nährboden auf.
6. Ein proportionales Verhalten der As-Konzentration im Gewebe zum Wachstum der Pflanzen war in vorliegenden Versuchen nicht festzustellen, denn es hatten größer gewachsene Pflanzen oft eine geringere As-Konzentration als gleichaltrige kleine Pflanzen. Auf irgend einen Zusammenhang zwischen As und Pflanzenwachstum deutet allerdings Punkt 3.
7. Große As-Gaben zum Nährboden der Pflanzen hemmen oder unterbinden sogar die Entwicklung.
8. Kleine As-Gaben wirken vielleicht als wachstumfördernder Reiz.
9. Mit verschiedenen Extraktionsmitteln ist das As zum Teil aus dem pflanzlichen Gewebe herauszuholen.

Zusatz: Die Methode enthält einen Fehler. Dieser äußert sich in einem umgekehrten Verhalten der errechneten As-Werte zum Gewicht der untersuchten Substanz. Da aber dieser Einfluß durch Verwendung gleichgroßer Ausgangsmengen weitgehend ausgeschaltet wurde, spielt er für die vorliegenden Untersuchungen nur eine geringe Rolle, zumal es sich hier ausschließlich um Vergleichsuntersuchungen handelt.

Ergebenen Dank sage ich Herrn Professor Dr. Dr. H. Guthmann für die Überlassung des Themas, sowie besonders dafür, daß er zu jeder Zeit bei allen Schwierigkeiten, die sich während der Arbeit ergaben, sehr hilfreich gewesen ist.

Lebenslauf.

Am 15. Dezember 1912 wurde ich in Leipzig geboren. Meine Schulzeit absolvierte ich in Forst in der Lausitz. Am dortigen Realgymnasium bestand ich im Februar 1931 das Abitur. Ich studierte Jura und Medizin an den Universitäten Genf, Leipzig und Frankfurt. Das Physikum bestand ich im Sommer 1934 in Frankfurt. Von Herbst 1934 bis Herbst 1935 diente ich freiwillig beim Art.-Lehr-Reg. in Brandenburg/Havel. Im Frühjahr 1938 beendete ich mein 10. med. Semester und beabsichtige mich zum Staatsexamen zu melden.

Willo Gründer.